

# VoWLAN 系统的 MAC 层改进机制

肖 达 林碧娇 肖明波  
XIAO Da ,LIN Bi-jiao ,XIAO Ming-bo

厦门大学 信息科学与技术学院 通信工程系 福建 厦门 361005  
Department of Communication Engineering Institute of Information Science and Technology ,Xiamen University ,Xiamen ,Fujian 361005 ,China  
E-mail :xiaoda28@hotmail.com

XIAO Da ,LIN Bi-jiao ,XIAO Ming-bo.Improved MAC schemes for VoWLAN systems.Computer Engineering and Applications 2009 45(12) :101-103.

**Abstract :** IEEE 802.11b DCF was designed to provide wireless data access to support real-time services such as voice. This paper proposed two modified MAC schemes to improve capacity and efficiency of Voice over WLAN(VoWLAN) systems.Analy-sis and simulation results show that the proposed schemes effectively improve the system capacity ,while QoS requirements such as delay ,delay jitter and average loss rate are guaranteed.  
**Key words :** Voice over WLAN(VoWLAN) ;Media Access Control(MAC) ;Time Division Multiple Access(TDMA)

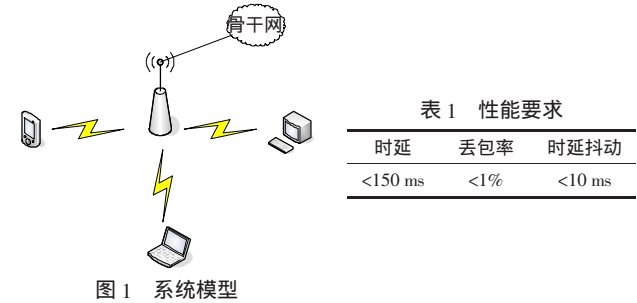
**摘 要** IEEE 802.11b 的 DCF 接入方式是为无线数据业务提供接入而设计的 ,不能有效地支持诸如语音之类的实时业务。提出了两种改进的 MAC 层机制来提高无线局域网上传输语音(VoWLAN)的系统容量和有效性。分析和仿真结果表明 ,改进机制显著提高了系统容量 ,并保证了传输延迟、抖动和平均丢包率等服务质量(QoS)要求。  
**关键词** 无线局域网的语音传输 媒体访问控制子层 时分多址  
**DOI** :10.3778/j.issn.1002-8331.2009.12.033    **文章编号** :1002-8331(2009)12-0101-03    **文献标识码** :A    **中图分类号** :TP393.17

## 1 概述

如今 ,无线局域网得到越来越广泛的应用 ,而 VoIP 作为一项在 IP 网络上支持语音传输的重要技术也得到了长足的进展。将两种技术相结合 ,在无线局域网上传输语音也变得越来越流行 ,而且可以预见在不久的将来会经历一个迅猛的增长。但是 ,无线局域网原本是为无线数据业务提供接入而设计的 ,受到无线局域网的一些内在限制 ,如有限的带宽、基于竞争的随机接入方式、上下行链路的不对称性 ,因此并不十分适合传输实时业务。这一点已经被证实。例如 ,Hole 和 Tobagi<sup>[1]</sup>用一个简单分析模型找出了 IEEE 802.11b 无线局域网在各种编码方式和不同语音包大小下的语音容量。类似地 ,用 DCF 支持 VoIP 的容量限制已经在其他研究<sup>[2-3]</sup>中被证实。本文将在分析无线局域网传输语音的容量及其影响因素的基础上 ,提出两种改进 MAC 机制 ,保证语音质量并显著地提高系统容量。

## 2 系统设置

本文所研究的系统如图 1 所示 ,由  $N$  个用户站和 1 个接入点(AP)组成的单跳无线局域网 ,支持 VoIP 用户与 AP 之间的双向语音传输。假设信道带宽是 11 Mb/s 根据 G.114 标准 ,要求语言包满足表 1 的性能参数指标 ,以保证在无线局域网上



传输语音的质量。  
**2.1 IEEE 802.11b**

IEEE 802.11b 默认的传输模式是 DCF ,它采用的 MAC 层接入机制是 CSMA/CA<sup>[2]</sup>。在 DCF 接入方式下 ,每个站点竞争接入信道。这里 ,不采用 RTS/CTS 机制 ,因为对于尺寸较小的语音包而言 ,RTS/CTS 的使用反而会增加开销 ,降低效率。因此 ,在 DCF 接入方式下主要的可变参数是最大竞争窗口( $CW_{max}=2^m CW_{min}$ ) ,最小竞争窗口( $CW_{min}$ )和退避等级( $m$ )。这些参数的默认值为  $CW_{min}=32$   $m=5$ 。每发生一次碰撞 ,竞争窗口大小翻倍 ,直至到达最大值。简单起见 ,假设所有的用户都有同样的信道

基金项目 福建省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Fujian Province of China under Grant No.2007J0036)。  
作者简介 肖达(1983-) ,男 ,硕士研究生 ,主要研究方向 无线局域网的 QoS 研究 林碧娇(1981-) ,女 ,工程师 ,主要研究方向 无线局域网的语音传输 肖明波(1971-) ,男 ,博士 ,教授 ,主要研究方向 无线网络 移动通信等。  
收稿日期 2008-03-04    修回日期 2008-05-12

传输速率 $R$ ,用 $T$ 来表征成功传输一个包的时间,碰撞时间为 $T_{col}$ 在 802.11b 中,有

$$T=DIFS+t_{pr}+\frac{\sigma}{R}+SIFS+t_{pr}+\frac{ack}{R}$$
 (1)

$$T_{col}=DIFS+t_{pr}+\frac{\sigma}{R}$$
 (2)

式中  $DIFS$  和  $SIFS$  分别是分布式和短帧间间隔,  $t_{pr}$  是传输物理层 PLCP 头部及前导码的全部时间。默认参数值如表 2 所示:

表 2 参数设定

参数	默认值	参数	默认值
RTP 包头长度/Byte	12	SIFS/ $\mu$ s	10
UDP 包头长度/Byte	9	DIFS/ $\mu$ s	50
IP 包头长度/Byte	20	时隙长度/ $\mu$ s	20
ACK 包长度/Byte	14	传播时延/ $\mu$ s	1
物理包头和前导字节/ $\mu$ s	192	最小竞争窗口	31
MAC 帧头和 FCS(Lmac_Hdr)/Byte	34	最大竞争窗口	1 023

2.2 语音编码

语音传输质量的好坏很大程度上取决于由语音编码方式所决定的包的大小和包到达率。文中考虑两种较常用的编码方案 G.711 和 G.729。G.711 在 20 ms 内将语音信号封装成一个有效载荷为 160 Byte 的语音包。G.729 在 10 ms 内将语音信号压缩成一个有效载荷为 10 Byte 的语音包。将多个语音包复接后传输的技术可以增加有效载荷并减少头的开销,然而,这也可能会增加传输延时和抖动<sup>[4]</sup>。

3 802.11b DCF 的语音容量

将采用 802.11b DCF 协议支持语音的方案称为随机接入机制(RAM)。众所周知,802.11b DCF 机制下,用户通过竞争共享信道,主要支持非实时业务的传输。会在仿真实验中验证这种机制传输实时语音时的局限性。

在无线局域网上传输 VoIP 时,所有的业务都要由 AP 进行转发。因为一个 AP 同时与  $N$  个用户进行通信,所以每个用户每个周期竞争一次信道,而对 AP 来说,每个周期有  $N$  个包需要下行转发,即每个周期需要竞争  $N$  次信道。在忽略碰撞时间的前提下,不难得出,传输一个语音包所需的时间为:

$$T=DIFS+PHY+T_{MAC}+SIFS+PHY+T_{ACK}$$
 (3)

$$T_{MAC}=(L_{MAC\_Hdr}+L_{(RTP+UDP+IP)\_Hdr}+L_{packet})/11\text{ Mb/s}$$
 (4)

其中  $T_{MAC}$  是传输一个 MAC 帧的时间。据此,可以估计出采用 G.711 和 G.729 编码方式,在不同的封包时间下,系统容量如图 2 所示。

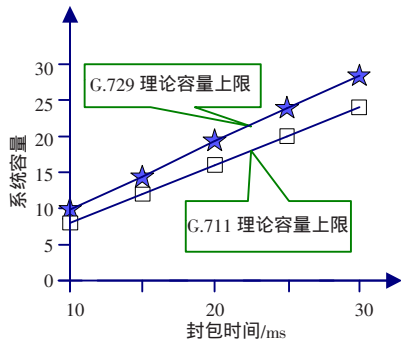


图 2 上行链路两种编码方式下的容量上限

在同样的分组产生速率的情况下,G.711 的容量不如

G.729,不过尽管 G.711 的比特率是 G.729 编码的 8 倍,在打包间距较小时容量差别不是很明显。同时,虽然加大分组打包的间隔可以提高容量,但这将增加语音端到端的延迟,影响语音的 QoS。一般而言,应控制在 40~50 ms 以内。

另外,当考虑到因为竞争而产生的碰撞时,系统容量会进一步降低。比如,当用 G.711 编码、封包时间是 20 ms 时,理论计算的容量是 16 路双向语音,而实际仿真结果只有 12 路。具体仿真结果如表 3 所示(仿真细节在第 4 节有详细介绍)。

表 3 G.711 仿真结果

节点数	平均端到端延时/ms	平均延时抖动/ms	丢包率/(%)
$N=13$	417.700	11.42	6.790
$N=12$	35.150	3.12	0.197
$N=11$	12.699	2.78	0.014

4 改进的 MAC 机制

4.1 TD-RAM

采用随机接入机制时,AP 与无线终端节点在竞争信道方面处于完全平等的地位。因此,当 AP 竞争到信道,在 AP 成功发送一个数据包后,竞争窗口大小变为  $CW_{min}$ ,这对 AP 进行下一次抢占信道非常有利。因此,在这种方案中 AP 是影响传输容量的瓶颈,而且还会造成每路通话上下行数据传输机会的不公平性。

为此,提出了第一种改进方案,TD-RAM(Time Division-Random Access Method)方案。改进方案的基本思路是,将封包时间划分为两部分:用于上行传输的时间( $T_{up}$ )和用于下行传输的时间( $T_{down}$ )。在上行中,各个节点发给 AP 的包仍是采用 DCF 竞争机制;在下行时间里,因为只有 AP 在发包,故而可以采用时分的方法,让这些包有序发出,不会发生冲突,因此各个节点也不必发送 ACK 帧给 AP。很显然,应该为上行链路分配更多的时间才能保证上下行链路双向传输的平衡。上行链路传输时间的选取很关键,因为它决定了 TD-RAM 所能够支持的最大传输用户数,即系统容量。根据式(3)、(4)可以计算,在发包间隔为 20 ms 的情况下,对 G.729 编码标准,传输一个语音包所用的时间为 522  $\mu$ s,而对 G.711 编码标准,传输一个语音包所用的时间为 624  $\mu$ s。可以得出在不同上行链路传输时间时,上下行的容量如图 3 所示。

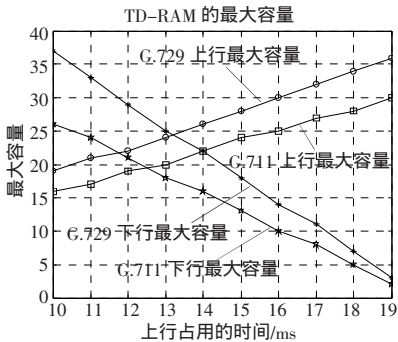


图 3 TD-RAM 的容量估算

因为语音业务上下行具有对称性(即有  $N$  路上行业务就必须有  $N$  路对应的下行业务),于是,可以从上下行链路容量与时间的关系图的交点处获得 TD-RAM 支持的系统容量。图 3 表示的是封包时间为 20 ms 时上下行链路的情况。从图中可以看出,G.711 和 G.729 的容量分别增加到了 19 路和 24 路。很显

然,因为 AP 在上行链路时间段不参与竞争,下行链路时间段又成了无竞争期间,系统容量得到了显著的提高。然而,因为上行链路仍然存在竞争,仍然会造成资源的浪费。

## 4.2 TD-TDMA

很显然,要达到最大传输容量,应该使上行链路和下行链路一样,变成无竞争期。此时,上下行链路各占封包间隔的一半,都实行时分传输,这样资源就被充分利用。这里将这种方案称为 TD-TDMA 机制。问题是:如何分布式地实现上行的时分传输,即每个移动终端如何独立地确定发包时间,才能保证每个周期能发送一次,同时又不会和其他用户的数据包发生冲突呢?

本文提出的解决办法是利用分组的自定时特性,采用如图 4 所示的办法进行传输(以 20 ms 打包时间的情况为例)。具体来讲,在下行时间段,AP 一个用户接一个用户地发送数据分组,对应的移动终端也会在经历一个较小的传播延迟之后收到该分组,规定终端接在收到分组半个周期之后,发送自己的上行数据分组。显然,在考虑了适当的保护间隔之后,AP 将一个接一个地接受来自移动终端的上行数据,不会有任何的冲突,因此可以分布式地实现 TD-TDMA 机制。

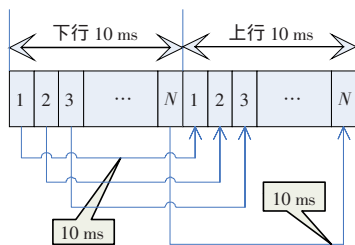


图 4 TD-TDMA 接入示意图

## 5 仿真

本文采用的网络仿真工具 Qualnet3.9.5 大学版对几种接入方案进行比较。所构建的仿真模型如图 1 所示,由  $N$  个用户站和 1 个 AP(接入点)组成的单跳无线局域网。节点随机分布在  $300\text{ m} \times 300\text{ m}$  的区域中,仿真时间为 60 s,编码方案分别为 G.729 和 G.711。其他参数设置可参见表 2。

图 5 与图 6 分别为采用 G.711 和 G.729 编码情况下,上行最大容量的仿真值与理论估计值的比较。在进行仿真时考虑了语音包起始时间同步和随机两种情况。

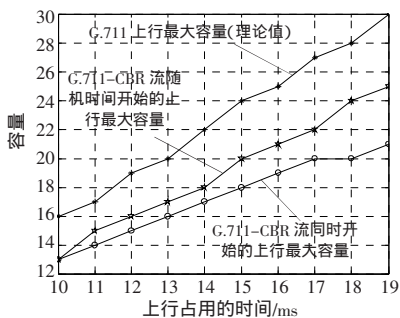


图 5 G.711 上行最大容量

因为在下行时间内,AP 是按序一个发包,根据图 5、图 6 并结合表 3,就能得到 TD-RAM 方案最大容量值。如图 7、图 8 所示,可以得到,对 G.711,能容纳的最大节点数为 17,此时上行占用时间为 13 ms 左右。对 G.729,能容纳的最大节点数为 21,上行占用时间为 14 ms 左右。这与采用现有的 DCF 协议的方案相比,容量有明显增加。

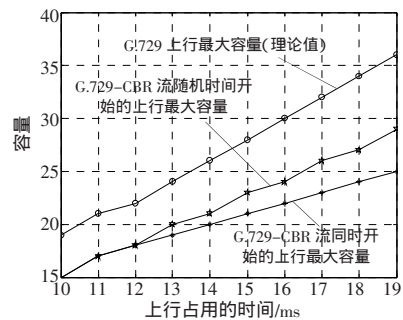


图 6 G.729 上行最大传输容量

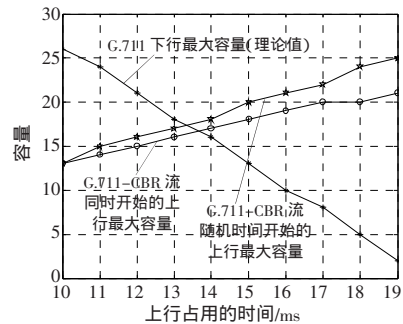


图 7 TD-RAM 下 G.711 的最大容量

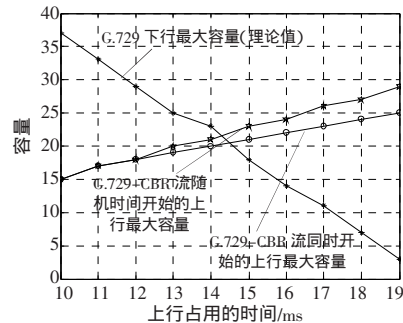


图 8 TD-RAM 下 G.729 的最大容量

表 4 给出了语音帧长均为 20 ms 的 G.711 和 G.729 在不同接入方案下的容量比较,表中的数据依次为 RAM、TD-RAM 和 TD-TDMA 下的容量。在表 4 中,发现仿真显示的容量要低于理论计算值,因为在理论计算中并没有考虑竞争。通过仿真发现:在 G.711 编码方式下,TD-RAM 将 RAM 的容量提高了 41.7%,而 TD-TDMA 又将 TD-RAM 的容量提高了 52.9%,而在 G.729 编码方式下,TD-RAM 将 RAM 的容量提高了 53.8%,TD-TDMA 也将 TD-RAM 的容量提高了 71.4%。

表 4 不同 MAC 机制下的系统容量(话路数)比较

	RAM	TD-RAM	TD-TDMA
G.711	12	17	26
G.729	13	21	37

## 6 结束语

鉴于 802.11b DCF 协议对传输语音的局限性,提出了两种 MAC 层改进机制:TD-RAM 和 TD-TDMA。这两种机制的核心思想都是在链路中引入时分发送方式来避免碰撞,使得资源得到高效的利用。仿真结果显示,改进的机制显著地提高了无线局域网上传输的容量。

TD-RAM 方案的具体实现是将发包间隔划分为两段:在上行中,各个节点发给 AP 的包仍是采用 DCF 竞争机制,在

(下转 106 页)



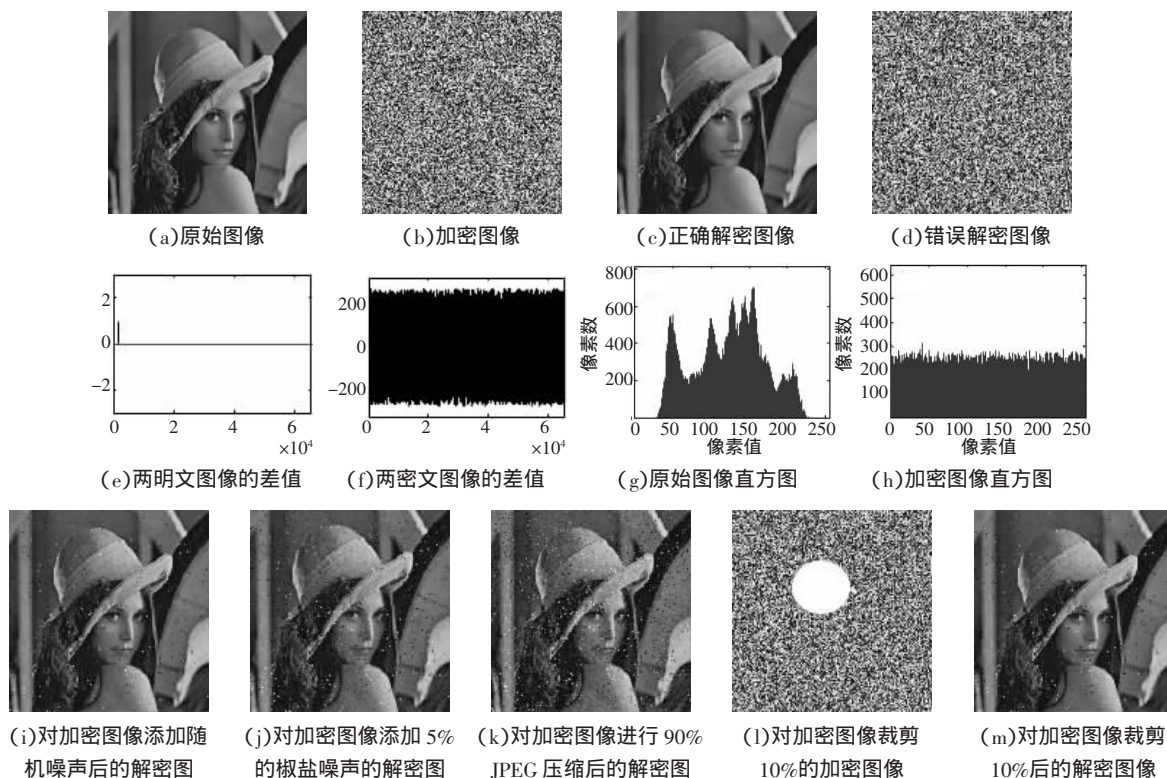


图2 实验结果

#### 4 结束语

本文提出了一种基于四维混沌系统的数字图像加密算法。算法具有以下主要优点：(1)像素的位置置换和像素值的替代均基于复杂非线性四维混沌系统，克服了低维混沌系统不能抵御相空间重构攻击的缺点。(2)算法的密钥空间大，具有抵御穷举攻击的能力。(3)混沌系统具有复杂的非线性混沌行为，因此生成的密钥具有较高的复杂性；且每次随机产生的密钥不同，具有一次一密特性。(4)密文图像直方图分布均匀，可以有效地抵御统计分析攻击。实验结果和分析表明，算法加密效果良好，具有很强的明文敏感性，密钥空间大，能够抵御统计攻击和穷举攻击，具有较强的抗干扰能力，即便是攻击者知道加密所采用的混沌系统和具体的加密算法，但只要不知道完整的密钥，想要解密出原始图像也是比较困难的，该算法具有较高的安全性。

#### 参考文献：

- [1] 张燕, 黄贤武, 刘家胜. 基于三维混沌系统的彩色图像新算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(20): 202-205.

(上接 103 页)

下行中, 因为只有 AP 在转发包, 故而采用时分的方法, 让这些包有序发出, 只要加一个合理的保护时隙, 这些包就不会发生冲突, 因此各个节点不必发送 ACK 帧给 AP。因为在上行时间内 AP 没有参与竞争, 所以 TD-RAM 方案提高了传输容量。还得出上下行最合理的时间分配点。

在 TD-RAM 方案的基础上, 提出了 TD-TDMA 方案, 即上行也采用 TD-RAM 中下行发包的方法。分析表明, 采用这种方案, G.711 的容量增加一倍以上, G.729 容量增加将近两倍。

应该指出, 现在的工作只是取得了一些初步的结果, 未来的工作还有很多。比如, 如何具体实现 TD-TDMA 以及如何数据 VoIP 共存时实现系统的性能和优先级; 如何通过压缩

- [2] 李太勇, 贾华丁, 吴江. 基于三维混沌序列的数字图像加密算法[J]. 计算机应用, 2006, 26(7): 1652-1654.
- [3] Long Min, Peng Fei, Qiu Shui-sheng et al. Implementation of a new chaotic encryption system and synchronization[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2006, 17(1): 43-47.
- [4] 张宇. 基于多混沌系统的图像分组密码设计[J]. 计算机应用, 2008, 28(9): 2263-2266.
- [5] Scarmner J. Fast encryption of image data using chaotic Kolo-mogorov flows[C]//Proceedings of the Symposium on Electronic Imaging Science and Technology: Storage and Retrieval for Image and Video Database V, San Jose, California, 1997, 3022: 278-289.
- [6] Yang T, Yang L B, Yang C M. Application of neural networks to unmasking chaotic secure communication[J]. Phys D, 1998, 124: 248.
- [7] Wang Shi-hong, Kuang Jin-yu, Li Jing-hua et al. Chaos-based communications in a large community[J]. Physical Review E-Statistical Nonlinear and Soft Matter Physics, 2002, 66(6): 1-4.
- [8] Adams J. Advanced animation with DirectX[M]. [S.l.]: Premier Press, 2003: 108-123.

包头进一步提高系统容量。

#### 参考文献：

- [1] Hole D P, Tobagi F A. Capacity of an IEEE 802.11b wireless LAN supporting VOIP[C]//Proc IEEE ICC'04, 2004: 196-201.
- [2] IEEE Std 802.11-1999 IEEE standard for wireless LAN medium access protocol and physical layer specifications[S]. Aug. 1999.
- [3] 802.11-1999 IEEE Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications[S]. 1999.
- [4] 王东, 刘志敏, 赵玉萍, 等. 一种基于单播方式提高 VOWLAN 系统话音容量的方案设计[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2007, 43(1): 132-137.